

氏 名 石橋 直彦

授与した学位 博士

専攻分野の名称 工学

学位授与番号 博甲第3633号

学位授与の日付 平成20年 3月25日

学位授与の要件 自然科学研究科産業創成工学専攻

(学位規則第5条第1項該当)

学位論文の題目 燃料電池発電システムにおける連続時間一般化予測制御によるロバスト温度制御

論文審査委員 教授 井上 昭 教授 則次 俊郎 准教授 鄧 明聡 教授 小西 正躬

学位論文内容の要旨

近年、省資源・CO₂排出量削減の必要性からコージェネレーションシステムの普及が期待されており、家庭用及び小規模業務用の小規模分野においては固体高分子形燃料電池 (Polymer Electrolyte Fuel Cell: PEFC) 発電システム早期実用化が望まれている。

燃料電池は水素と酸素を化学反応させ水を生成する過程で発電するためにクリーンなエネルギーを得ることができる。しかし、長時間の発電を得るためには、一般に流通している炭化水素系燃料 (都市ガス、灯油等) を水素リッチな改質ガスに改質する化学反応器 (改質器) を置き、連続的な水素の供給が得られる必要がある。ここで、長期間にわたり安定した発電を得るためには改質ガス中の組成を安定に保たなければならず、そのためには改質器内に充填した触媒温度を目標温度に安定して制御しなければならない。改質器の温度制御には発電開始前後で制御方法が異なるが、いずれにしても改質器内の改質プロセスは不確かな無駄時間をもち、アクチュエータの動作範囲には制限がある。つまり、入力制約をもった無駄時間プロセスと言い換えることができる。

本論文では、入力制約を伴い不確かなプロセスに対し、安定した連続時間一般化予測制御システムを設計する。従来の連続時間一般化予測制御に対し、これまで別々に考察されてきた次の2つのロバスト制御系手法を組み合わせた。

(a) 入力制約にロバストな制御系

(b) むだ時間の不確かさにロバストな制御系

上記 (a) の入力制約へのロバスト性は、入力制約を不確かな非線形要素とみなすことでロバスト強安定性が得られ、上記 (b) のむだ時間へのロバスト性はむだ時間項にPadé近似を適用し拡張の図った。

そして、既約分解表現とYoulaパラメトリゼーションを用い、つぎの2段階設計手法を提案した。

(1) むだ時間の不確かさにロバスト安定な制御系を求めるために、入力制約を無視した線形制御系に対し、コントローラは安定であり、かつ閉ループ系も安定、すなわち、強安定な予測制御器を設計する。

(2) 閉ループ特性において、入力制約にロバストに安定な補償器 (アンチワイドアップコントローラ) を求める。

さらに、上記手法を単入出力系から多入出力系へと拡張を行った。

すなわち、単入出力系として燃料電池発電前の改質触媒温度制御器に、多入出力系として燃料電池発電後の改質触媒温度制御器およびプロセス水蒸気温度制御器を設計し、それぞれに対し実機試験をおこない、従来制御手法に対して本提案手法の有効性を確認した。

論文審査結果の要旨

本論文は燃料電池の改質器の温度制御に対して連続時間モデル予測制御手法を提案している。燃料電池の改質器内の改質プロセスは不確かな無駄時間をもち、アクチュエータの動作範囲には制限がある。すなわち、入力制約をもった無駄時間プロセスである。従来、モデル予測制御では不確かな無駄時間に対してロバストな制御系、入力制約にロバストな制御系は別々に考察されてきた。本論文では、従来の連続時間一般化予測制御に対し、これまで別々に考察されてきた前記の2つのロバスト制御系手法を組み合わせた手法を新たに提案している。

入力制約へのロバスト性は、入力制約を不確かな非線形要素とみなすことでロバスト強安定性が得られ、むだ時間へのロバスト性はむだ時間項にPadé近似を適用し拡張の図った。

そして、既約分解表現とYoulaパラメトリゼーションを用い、つぎの2段階設計手法を提案している。すなわち、(1) むだ時間の不確かさにロバスト安定な制御系を求めるために、入力制約を無視した線形制御系に対し、コントローラは安定であり、かつ閉ループ系も安定、すなわち、強安定な予測制御器を設計し、(2) 閉ループ特性において、入力制約にロバストに安定な補償器（アンチワイドアップコントローラ）を求める。

さらに、上記手法を単入出力系から多入出力系へと拡張を行った。

すなわち、単入出力系として燃料電池発電前の改質触媒温度制御器に、多入出力系として燃料電池発電後の改質触媒温度制御器およびプロセス水蒸気温度制御器を設計している。

それぞれの制御手法に対し燃料電池において実機試験をおこない、従来の制御手法に比較して本提案手法の有効性を示している。よって、本論文は、制御理論上、新たな知見を与え、さらに、実用上の有効性も示しており、学術的意義は極めて高く、本研究は博士（工学）の学位に十分値すると認められる。